



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

*Centro Nazionale per la caratterizzazione ambientale e la protezione della
fascia costiera, la climatologia marina e l'oceanografia operativa
Area Marea e Lagune*

Analisi eventi di marea

Rapporto n. 02/2018

Gli eventi meteo-marini del 28 e 29 ottobre 2018 nel Nord Adriatico

E. Coraci, F. Crosato, S. Morucci, M. Ferla

Castello, 4665 - 30122 Venezia
Tel: 041 5220555 / 5235895 - Fax: 041 5220521
Segreteria previsione di marea: 041 5202027 / 5202083
e-mail: venezia@isprambiente.it
www.venezia.isprambiente.it

La particolare situazione meteorologica venutasi a determinare nel corso delle giornate del 28 e 29 ottobre 2018, ha avuto estese conseguenze negative, anche gravi e drammatiche, in molte aree del nostro Paese. Le forti ed abbondanti precipitazioni e la persistenza di forti venti dai quadranti meridionali, sono state alla base dell'insorgere di fenomeni franosi sulle aree montane del Nord-Est e di importanti eventi di piena lungo i corsi d'acqua dei grandi bacini idrografici (Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Adige ed in parte anche il Po). Le violente mareggiate hanno colpito gran parte delle coste italiane con conseguenze disastrose in particolare lungo la costa ligure. Le mareggiate sono state alla base anche di inondazioni costiere lungo il litorale Nord Adriatico e nelle lagune. A seguito dello stato di allerta diramato dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile Nazionale (DNPC), ISPRA si è attivata attraverso il proprio Centro Nazionale per le Crisi e le Emergenze ambientali a supporto del Comitato Operativo costituitosi presso lo stesso DNPC.

Il presente rapporto descrive, attraverso l'analisi dei dati registrati in tempo reale dalle reti meteorografiche dell'ISPRA, le condizioni del mare osservate nell'area Nord Adriatica, esasperate da eccezionali picchi di marea che hanno raggiunto quota 156 cm nel centro storico veneziano.

Situazione meteorologica

Dopo un inizio di autunno caratterizzato dalla permanenza di campi di alta pressione sull'Italia e dalla persistenza di temperature ben al di sopra della media del periodo, verso la fine del mese di ottobre si è verificato un cedimento della pressione sull'Italia con l'anticiclone in ritirata verso l'Atlantico ed il contemporaneo affondo di una saccatura fredda che, attraversando l'Europa in direzione NE-SO, si è manifestata in Mediterraneo il giorno 28 ottobre (Fig. 1). È proprio nella porzione occidentale del Mediterraneo che si è venuta così a formare una robusta, quanto complessa, area depressionaria.

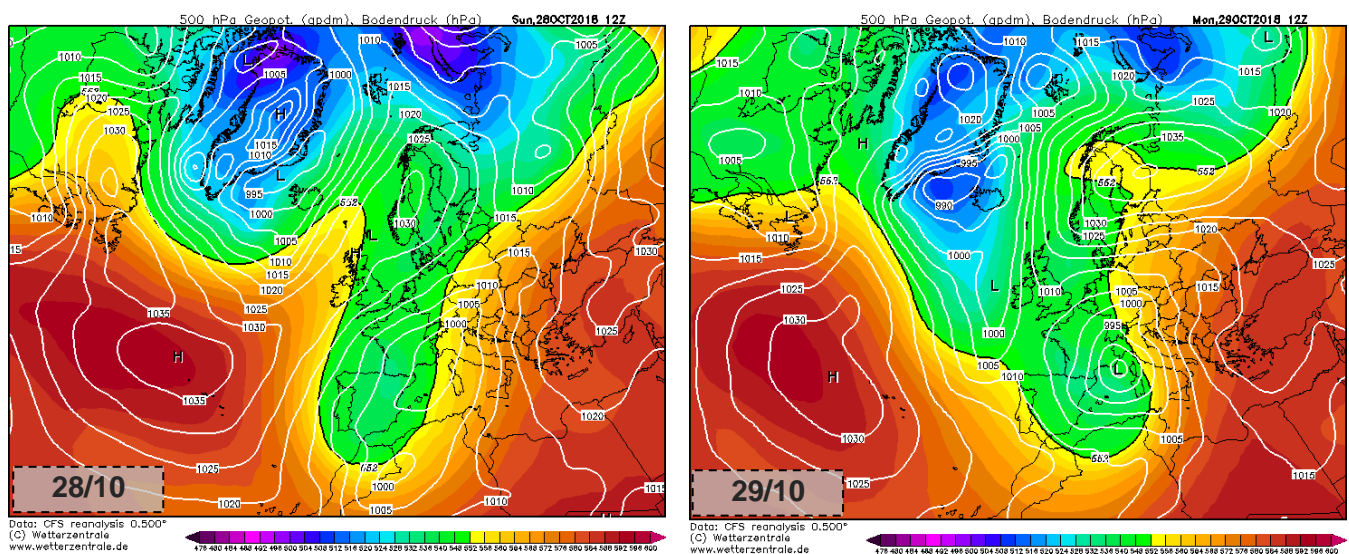


Figura 1 - Mappe di rianalisi relative ai giorni 28-29 ottobre 2018 alle ore 12 UTC (Wetterzentrale).

Questa struttura di bassa pressione, in spostamento verso le Isole Baleari ed in contrapposizione con un promontorio anticiclonico posizionato oltre i Balcani, ha determinato una severa ventilazione umida dai quadranti meridionali, caratterizzando l'ondata di maltempo eccezionale abbattutasi sull'intero paese. Il giorno 29, l'Italia, trovandosi nella zona di maggior gradiente barico, è stata esposta a venti di scirocco e di libeccio molto sostenuti e con intensità localmente anche di burrasca (Fig. 2), con conseguente rischio di mareggiata nei litorali più esposti.

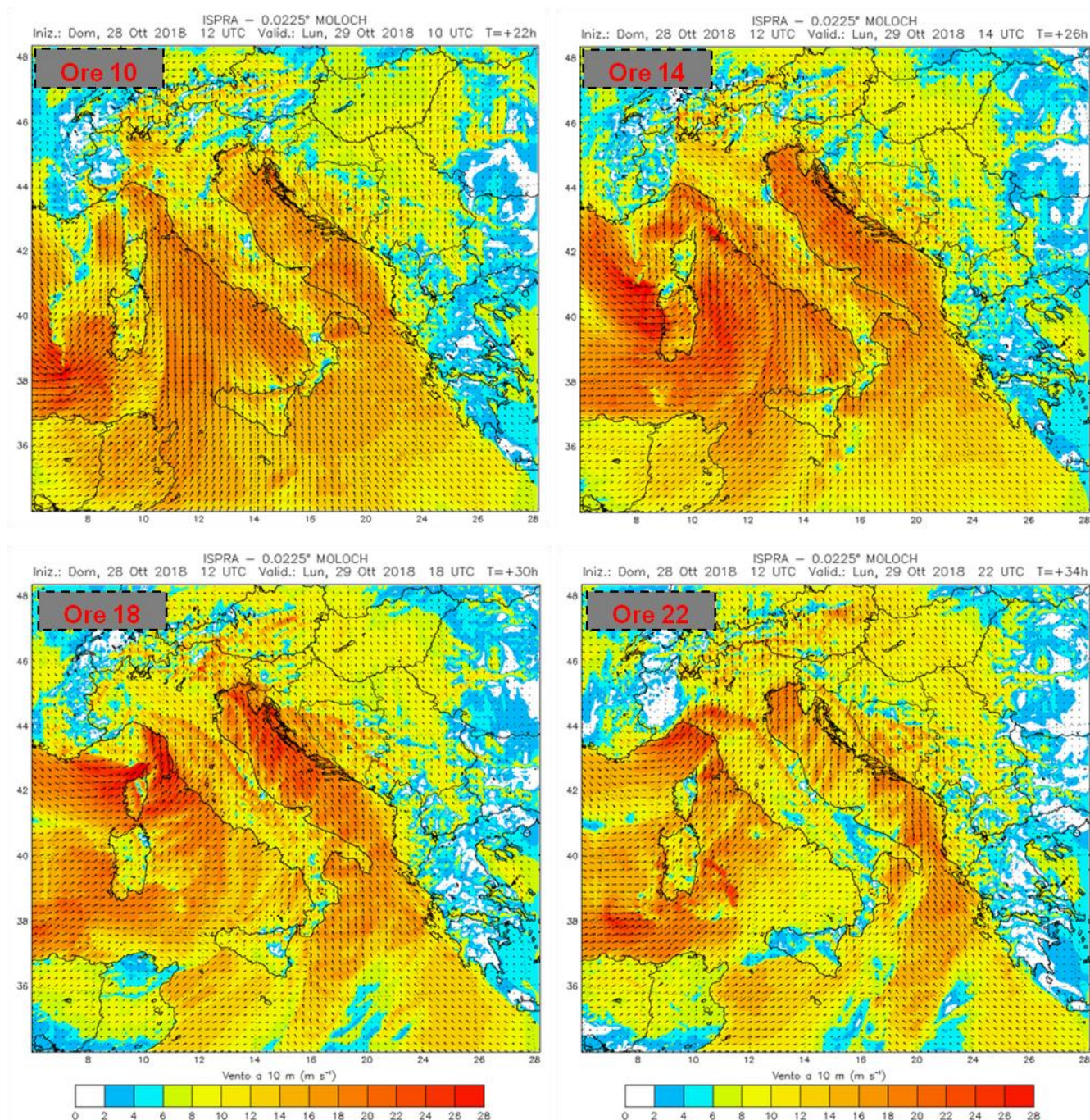


Figura 2 - Mappe del vento a 10 m previsto dal modello Moloch (ISPRA) per il 29/10 alle ore 10, 14, 18, 22 UTC.

La diretta conseguenza della situazione meteorologica descritta ha avuto nel Nord Italia i risvolti più gravi. In particolare, è nel Nord-Est che si sono registrate abbondanti, quanto persistenti, precipitazioni in

montagna, nonché mareggiate lungo la costa ed alte maree eccezionali nelle lagune. Numerosi sono stati i casi di dissesto idrogeologico registrati sul territorio triveneto, anche con vasti allagamenti e diffusi fenomeni di erosione lungo i litorali.

Dalle mappe in figura 2 appare chiaro come il nucleo di bassa pressione abbia attraversato l'Italia centro-settentrionale da Ovest verso Est nella parte centrale del 29 ottobre, creando le criticità maggiori sui versanti settentrionali di Tirreno e Adriatico con venti in mare di intensità prossima ai 20-25 m/s.

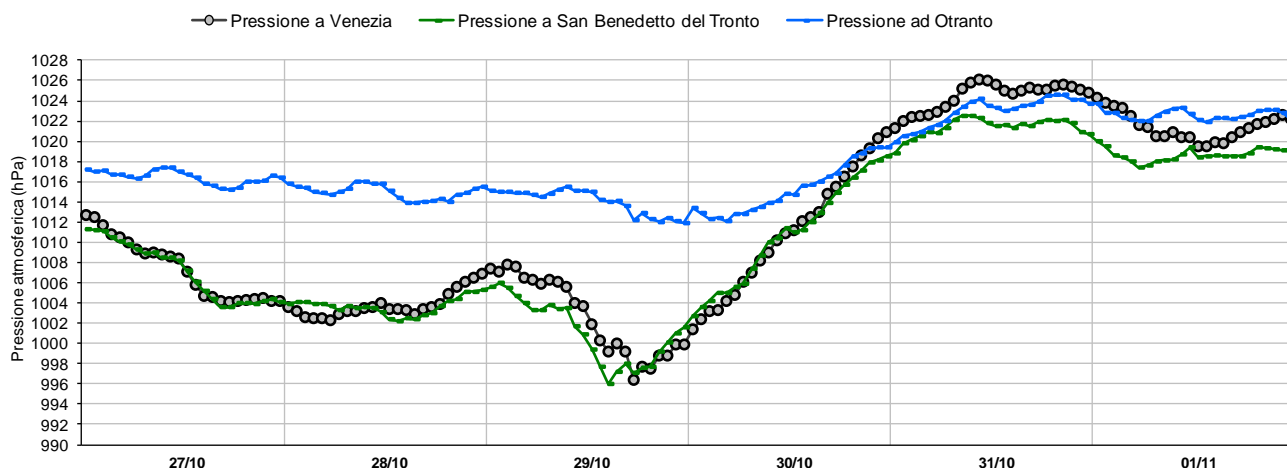


Figura 3 - Andamento della pressione atmosferica lungo la costa Adriatica.

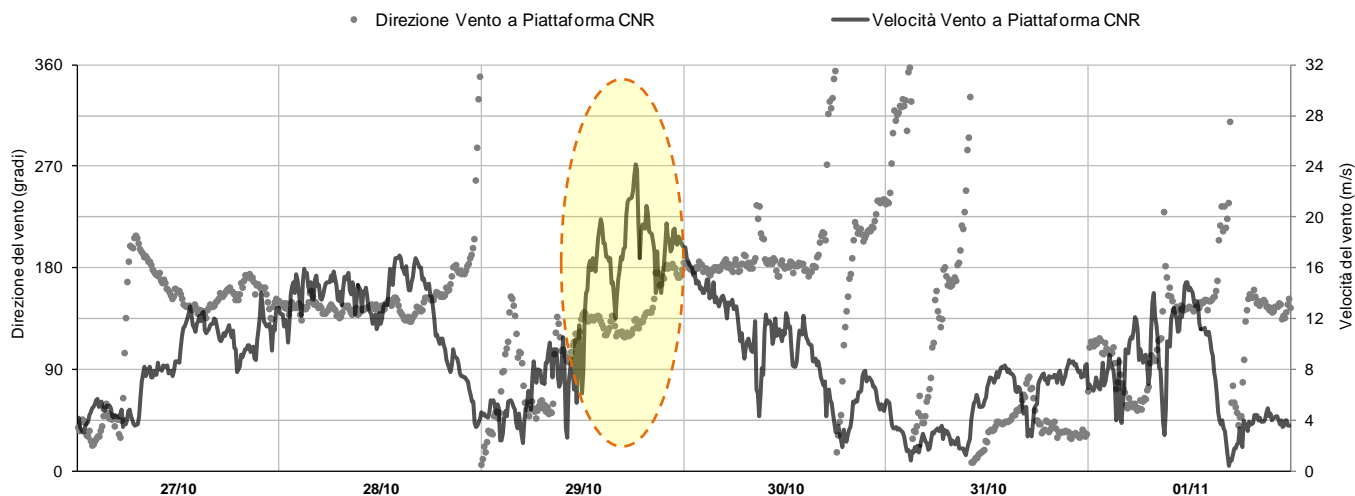


Figura 4 - Regime del vento registrato presso la stazione di Piattaforma CNR.

Relativamente al versante Adriatico, in figura 3 è stato evidenziato l'andamento della pressione atmosferica rilevata lungo il bacino. L'impulso perturbativo, già a partire dal 27 ottobre ha caratterizzato il manifestarsi di un inizio di gradiente barico tra Centro-Nord e Sud, che già il giorno 28 si è stabilizzato intorno ai 10 hPa. Dal 29 ottobre, mentre ad Otranto la pressione ha continuato a mantenersi pressoché costante, nella porzione centro-settentrionale del bacino ha iniziato la sua decrescita, fino a toccare il minimo barico assoluto intorno ai 996 hPa. È infatti verso la metà del 29 ottobre che si è registrata una

variazione di pressione tra le porzioni distali del bacino di quasi 16 hPa; questo delta barico ha favorito l'innescò di venti dal secondo quadrante di notevole intensità.

In alto Adriatico (Fig. 4), già il giorno 28 si era assistito allo spirare di vento di Scirocco per quasi tutto il giorno con velocità prossime ai 14-15 m/s, intensità aumentate oltre i 20 m/s nel corso del successivo 29 ottobre (cerchio giallo).

Già dalla fine del 29 ottobre il delta barico lungo l'asse adriatico ha iniziato a ridursi, annullandosi nella seconda metà del 30 Ottobre e portando ad una situazione stabile ed uniforme lungo tutto il bacino.

Stato del mare in Alto Adriatico

I forti venti provenienti da Sud Est, indotti dalla perturbazione in atto, hanno portato all'insorgere di condizioni estreme dello stato del mare nella porzione centro settentrionale del bacino adriatico. Come si osserva nella mappe elaborate da ISPRA (Fig. 5) le previsioni di altezza d'onda mostravano lungo la costa italiana valori da 3 m (coste venete e friulane) a 6 m (coste emiliane e marchigiane).

Questi valori sono stati successivamente confermati dalle misure registrate in alto Adriatico presso la Piattaforma CNR. In figura 6 viene infatti mostrato l'andamento del moto ondoso, comparandolo con la differenza barica insorta tra il lato meridionale e settentrionale del bacino adriatico. I giorni più critici sono stati il 28 e 29 ottobre con valori di altezza d'onda significativa costantemente al di sopra dei 2 m, con picchi massimi intorno ai 3.5 m. Il moto ondoso è andato attenuandosi dal giorno 30 Ottobre, tornando a mostrare una lieve ripresa durante il giorno 1 Novembre, dovuta ad un debole rinforzo di venti dal secondo quadrante.

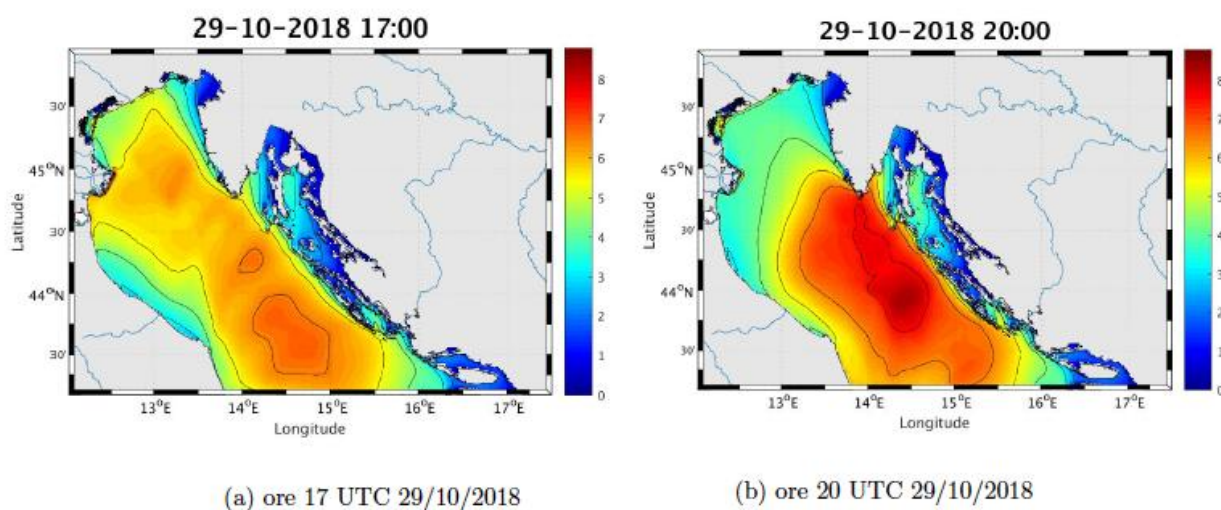


Figura 5 - Altezza d'onda significativa prevista il 28 ottobre in alto Adriatico (MCWAF, ISPRA).

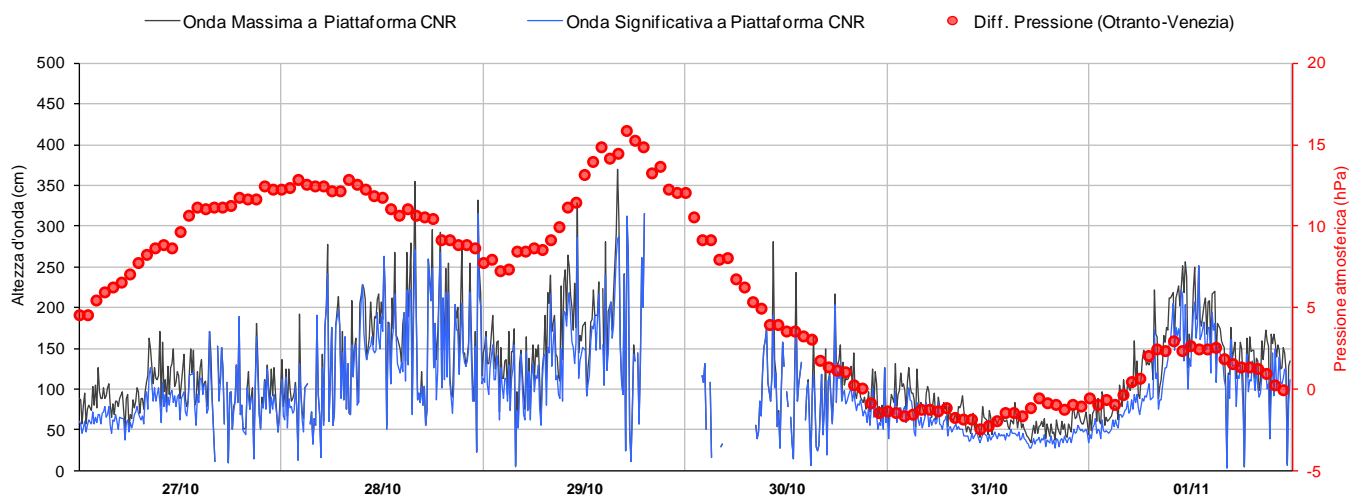


Figura 6 - Moto ondoso registrato presso la stazione di Piattaforma CNR.

Se si sommano gli effetti di una pressione in drastica diminuzione e di una persistente azione dei venti di Scirocco con fetch di 800 km lungo tutto l'Adriatico, nella porzione settentrionale del bacino si possono ottenere notevoli amplificazioni del livello di marea rispetto alla normale oscillazione astronomica.

In figura 7 è rappresentato l'andamento della curva di marea registrata nel centro storico di Venezia (Punta della Salute) e del contributo meteorologico (sovralzò) calcolato per la medesima stazione. Il grafico mostra che a causa dello Scirocco che ha soffiato per gran parte del giorno con valori di velocità intorno a 14 -15 m/s (Fig. 4), nella giornata del 28 ottobre si è verificato un primo impulso meteorologico di 75 cm che ha fatto registrare un livello massimo di marea pari a +121 cm sullo ZMPS alle ore 13:40. Il rinforzo dei venti dai settori sud orientali avvenuto nella giornata del 29 ha prodotto una decisa impennata del sovralzò che ha raggiunto dapprima un valore di 113 cm alle ore 14:40 in corrispondenza del primo picco eccezionale di marea (+156 cm) e successivamente ha raggiunto la massima intensità di 156 cm alle ore 20:20. In questo secondo caso il livello massimo di marea misurato è stato pari a +148 cm, valore inferiore al precedente picco solo perché avvenuto in corrispondenza del valore minimo di marea astronomica.

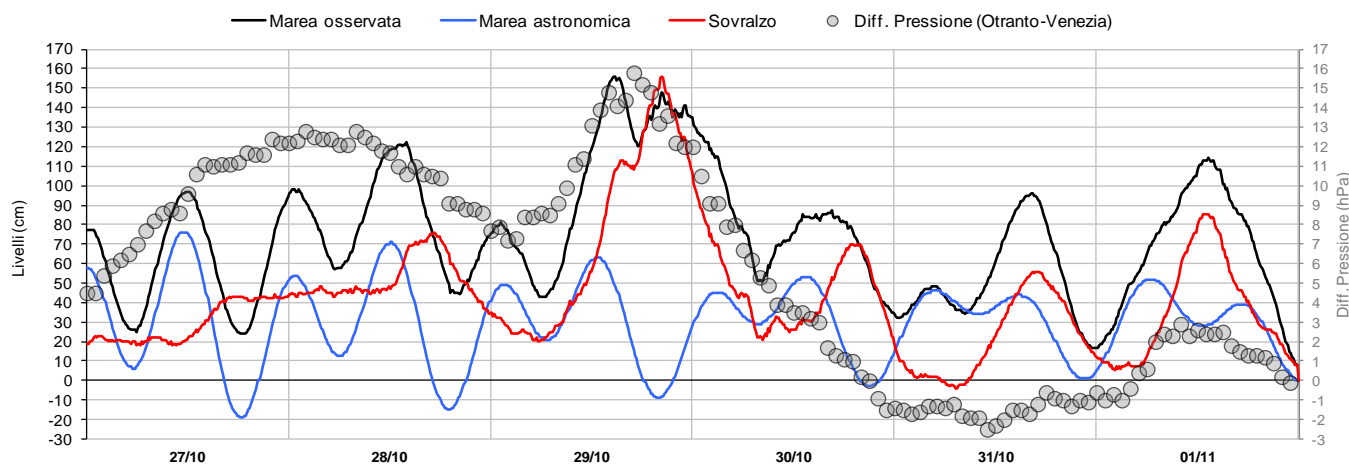


Figura 7 - Confronto tra misurazioni mareografiche registrate a Venezia (Punta della Salute) e andamento del gradiente barico tra gli estremi del bacino Adriatico.

Nella stessa figura assieme alle curve di marea e di sovralzò, si è ritenuto opportuno graficare anche la differenza di pressione tra gli estremi del bacino Adriatico proprio per sottolineare la sincronia dei valori massimi delle tre componenti.

Come è noto, la situazione mareografica occorsa all'interno della Laguna di Venezia risente dell'azione del vento locale che provoca uno scostamento tra i sovralzò da un bordo all'altro del bacino (fenomeno detto dei "sovralzò differenziati"). Infatti, in presenza di forte vento locale di Scirocco le masse d'acqua vengono spinte verso il bordo settentrionale (sopravento) dove si osservano valori massimi di marea enfatizzati (Grassabò) rispetto ai corrispondenti valori massimi smorzati in laguna meridionale (bordo sottovento, Chioggia Vigo). Durante il secondo picco di *acqua alta* del 29 ottobre la differenza di livello tra laguna Nord e laguna Sud è stata di circa 40 cm (Fig. 8).

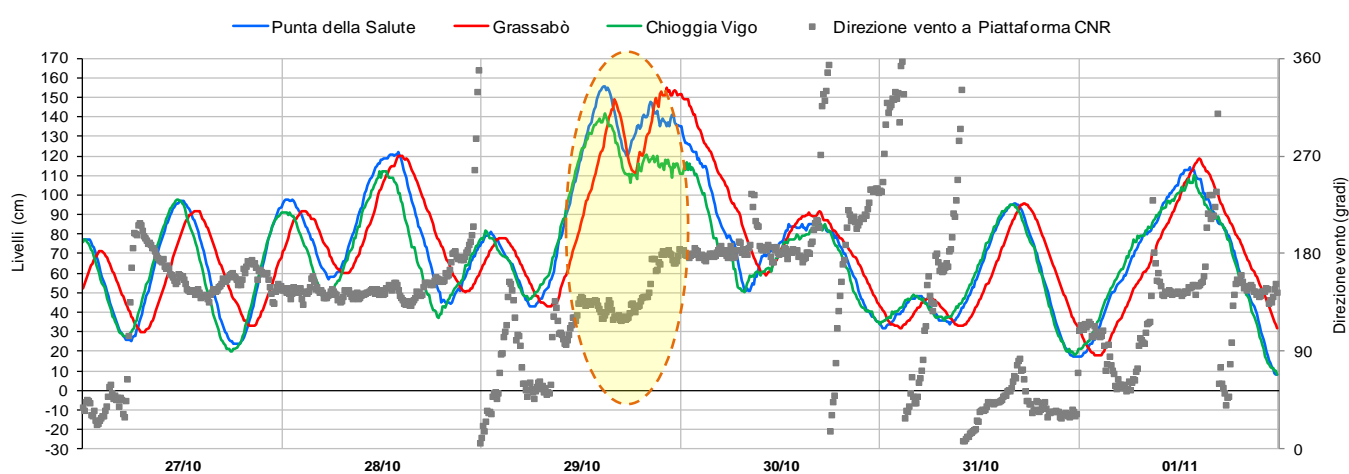


Figura 8 - Andamento dei livelli di marea all'interno della Laguna di Venezia.

Nel grafico in figura 9 si osservano i valori di marea registrati in tre stazioni poste lungo il litorale Nord Adriatico, dal delta del Po (Porto Caleri) fino alla laguna di Marano (Grado). Anche in questo caso l'azione del vento che spinge verso Nord influenza le curve di marea e si evidenzia come a Grado, rispetto alle altre due stazioni, l'acqua tenda ad insaccarsi e a posticipare l'inizio della fase di marea calante, facendo registrare un terzo picco massimo di +146 cm sullo ZMPS alle ore 00 del 30 ottobre.

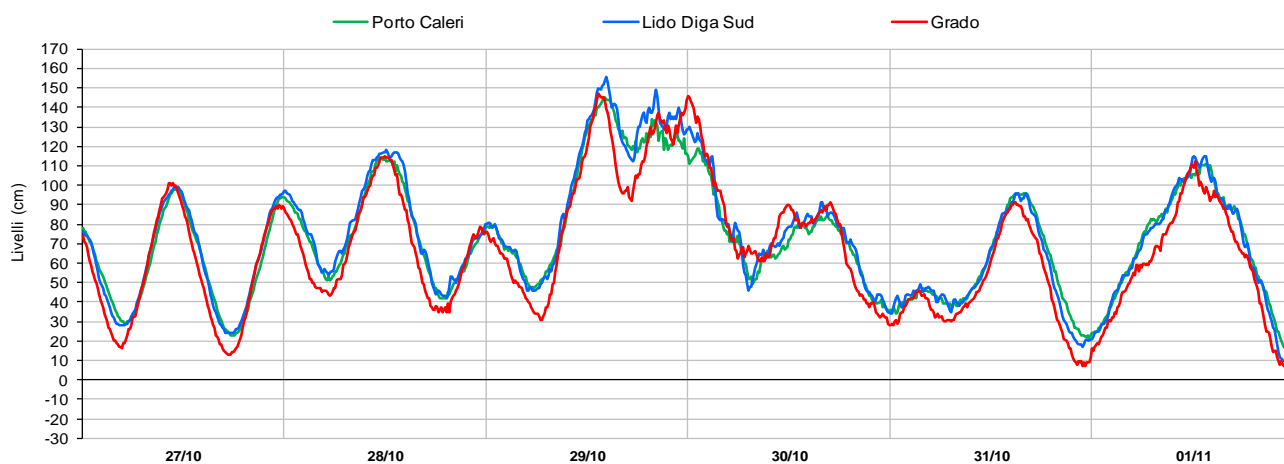


Figura 9 - Livelli di marea registrati in tre stazioni del litorale Nord Adriatico.

Si riportano in tabella 1 i massimi e minimi di marea registrati nei giorni 28 e 29 ottobre 2018 in alcune delle stazioni della Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'arco costiero Nord Adriatico (RMLV). I centri abitati della laguna centro-nord hanno subito ben quattro superamenti di quota +120 cm con notevoli condizioni di disagio per la popolazione: durante i picchi massimi la percentuale di allagamento del centro storico veneziano è stata superiore al 75%. Per il centro storico, un'altra conseguenza eccezionale del fenomeno è stata la permanenza della marea al di sopra di quota 110 cm per quasi 16 ore consecutive (dalle 11:30 del giorno 29 alle 03:10 del giorno 30).

Il picco massimo del 29 ottobre è stato caratterizzato in termini di eccezionalità da tempi di ritorno attesi, calcolati con il metodo Generalized Pareto Distribution - Peak Over Threshold method (GPD-POT), di circa 20 anni per le stazioni di Punta della Salute, Burano e Lido Diga Sud. I tempi di ritorno attesi per i valori estremi registrati presso le stazioni di Chioggia, Grado e Porto Caleri sono invece di circa 5 anni.

	28 ottobre		29 ottobre		
	max	min	max	min	max
PUNTA SALUTE	121	45	156	120	148
ora	13:00	20:10	14:40	17:30	20:30
MURANO	122	46	158	122	149
ora	13:30	20:30	14:50	17:40	20:50
BURANO	120	49	150	121	146
ora	14:10	21:00	15:30	17:50	21:50
CHIOGGIA	112	37	142	106	120
ora	12:00	18:50	14:50	18:00	21:10
GRADO	114	35	147	96	137
ora	12:00	18:20	13:20	16:20	20:30
LIDO DIGA SUD	118	43	156	112	149
ora	12:00	18:50	14:10	17:20	20:10
PORTO CALERI	114	42	145	118	134
ora	11:30	18:40	14:00	17:30	19:40

Tab. 1 - Massimi e minimi di marea di marea registrati nei giorni 28 - 29 Ottobre 2018

Si ritiene opportuno riportare infine i valori di livello e sovrizzo relativi ad una stazione a mare della RMLV (Lido Diga Sud) per un periodo di 10 giorni (dal 27 ottobre al 5 novembre, fig. 10). Nonostante l'attenuarsi dei venti lungo l'Adriatico del 30-31 ottobre, a partire dal 2 novembre si osserva la presenza di picchi massimi di marea +100 e +110 cm distanziati di circa 24 ore. Il fenomeno osservato è causato dalla sessa ovvero il cosiddetto "effetto memoria", un'onda in oscillazione (periodicità pari a circa 22 ore) tra il Golfo di Venezia ed il Canale d'Otranto, causata dall'impulso meteorologico principale. Essa si può ripresentare con livelli di marea sostenuti anche nei giorni seguenti specie se, come in questo caso, si trova in fase con i massimi di marea astronomica.

Nei giorni successivi a quelli interessati dal culmine dell'evento, è stato costantemente monitorato il fenomeno della sessa anche in relazione a rischio di eventuali conseguenze del livello del mare alle foci dei fiumi interessate dal transito dei colmi di piena dovuti alle estese ed abbondanti precipitazioni che avevano interessato la parte montana dei grandi bacini idrografici.

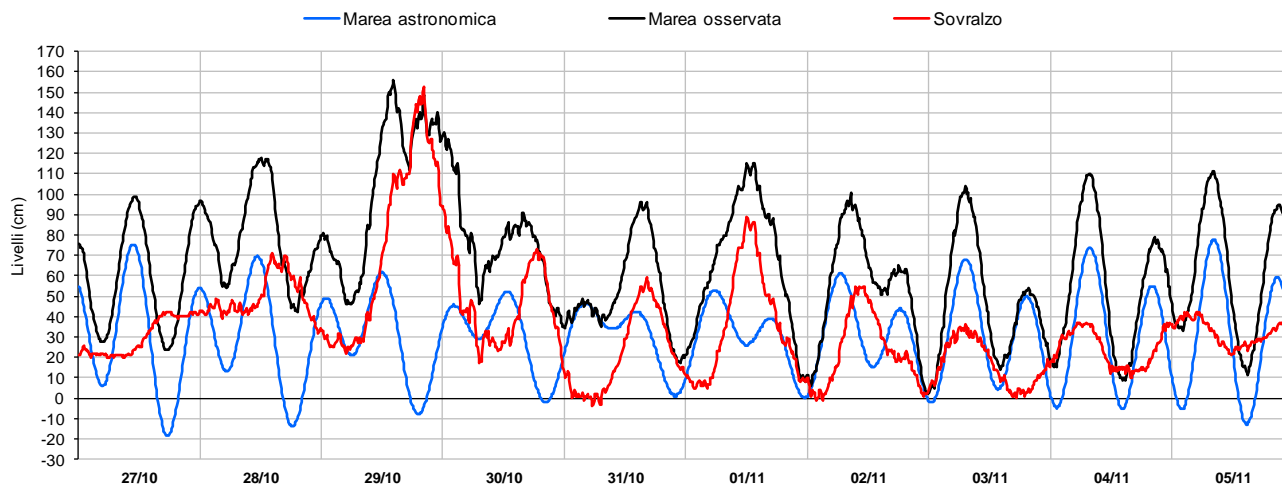


Figura 10 - Livello di marea e sovrалzo registrato a Lido Diga Sud.

Previsioni di marea

Il Centro nazionale per la protezione della fascia costiera di ISPRA, attraverso la propria unità Area Maree e Lagune con sede a Venezia, elabora e divulga quotidianamente Il Bollettino Giornaliero della marea presso le seguenti stazioni della RMLV: Grado, Lido Diga Sud, Venezia - Punta della Salute, Burano, Chioggia Vigo e Porto Caleri. Il Bollettino fornisce previsioni fino a 96 ore.

Per le previsioni vengono utilizzati due famiglie di modelli: modelli di tipo statistico che ricercano nelle serie storiche le associazioni migliori tra variabili meteorologiche previste su singoli punti (vento e pressione) e il livello della marea, adottando i casi storici come “guida” per la previsione; modelli di tipo deterministico che si basano sulle equazioni dello stato fisico del mare e ricevono come input i campi meteorologici di vento e pressione in un dominio che copre tutto il Mar Mediterraneo, elaborati sia dal ECMWF di Reading (UK) sia ISPRA attraverso un modello ad area limitata (BOLAM).

Vengono ora illustrate le previsioni effettuate in alcune stazioni della RMLV con anticipo di 48 e 24 ore rispetto agli eventi eccezionali del 29 ottobre. Per le stazioni di Burano, Chioggia Vigo e Porto Caleri non sono disponibili le previsioni calcolate con i modelli statistici per la mancanza di dati trasmessi in tempo reale.

In figura 11 si riportano i grafici di previsione per Punta della Salute e Grado prodotti il giorno 28: si osservano i dati misurati (in nero) e le 10 curve prodotte dai diversi modelli di previsione. Il picco di marea del giorno 28 è stato previsto correttamente dalle simulazioni modellistiche. Per il giorno 29 a Punta della Salute i modelli hanno previsto il primo massimo con un range di valori tra 115 e 150 cm (156 cm registrati), mentre il picco serale è stato previsto per le prime ore del giorno 30 con valori compresi tra 110 e 149 cm (148 cm registrati).

Analogamente, per la stazione di Grado le previsioni hanno mostrato valori tra 115 e 135 cm per il primo picco (registrato 147 cm), e un intervallo tra 105 e 139 per il terzo picco di 146 cm. Il secondo massimo di 137 cm registrato nel pomeriggio-sera del 29 a Grado non è stato previsto dalle simulazioni modellistiche che mostrano una fase calante più estesa dopo il primo picco.

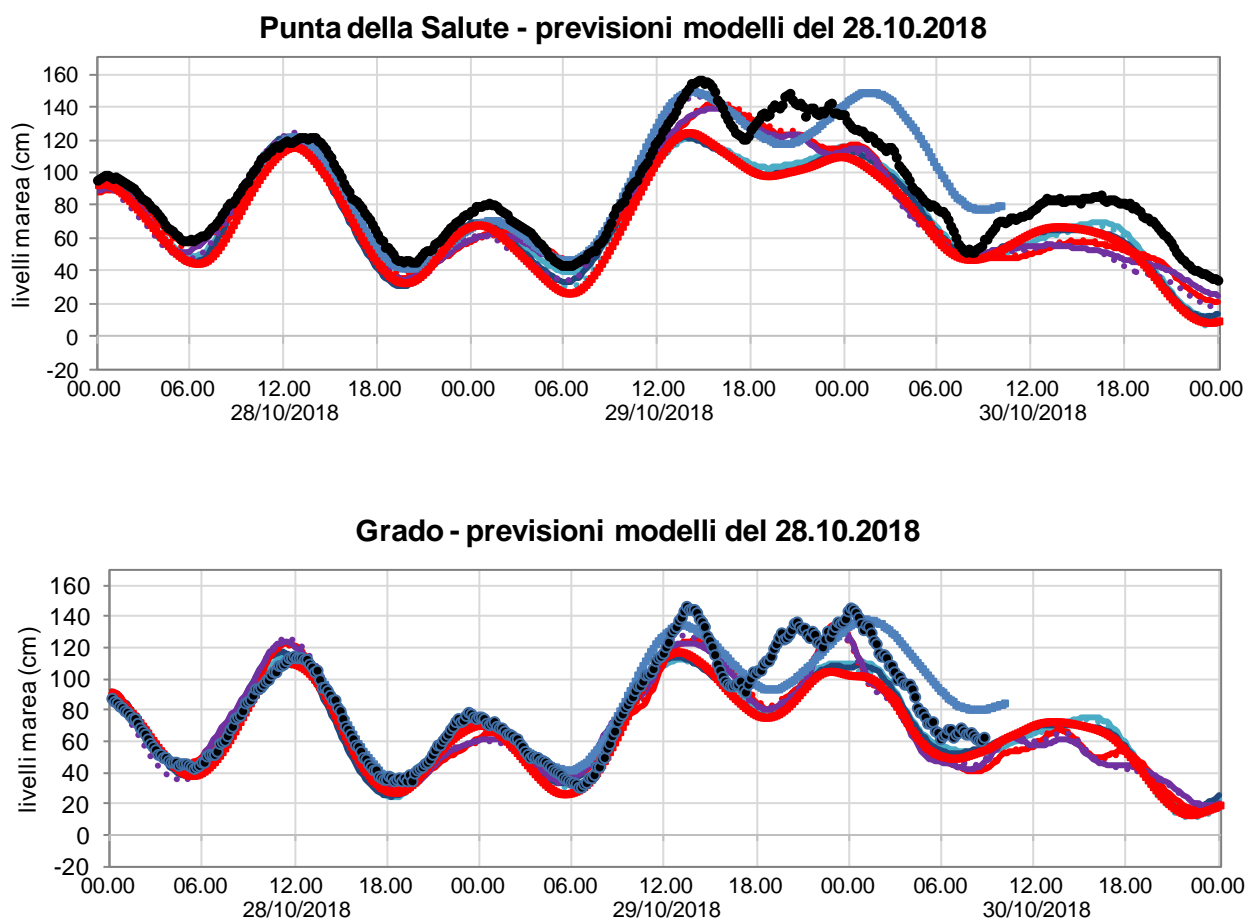
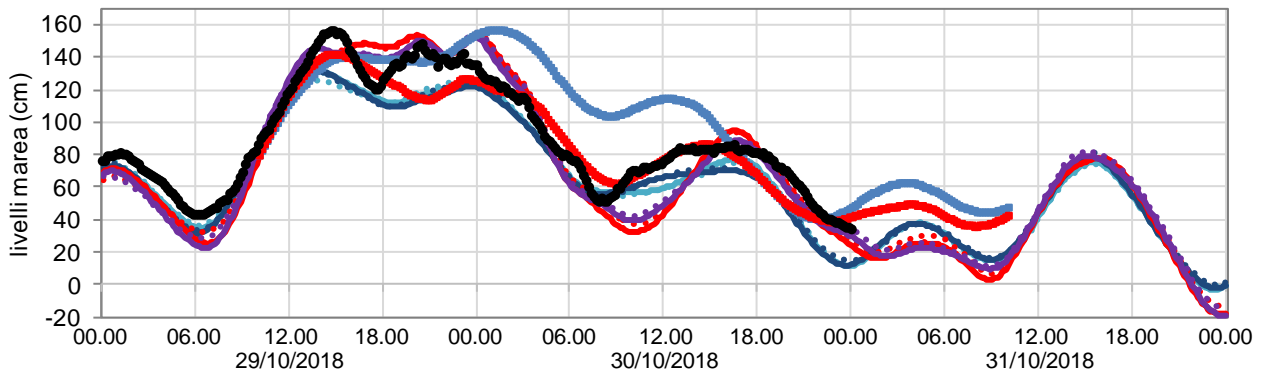


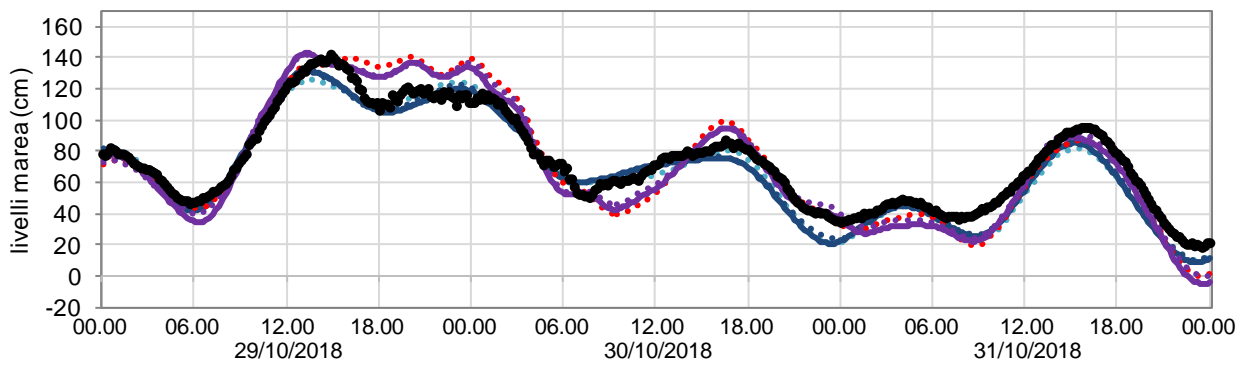
Figura 11 - Livelli di marea misurati (nero) e previsti con anticipo di 48 ore per Punta della Salute e Grado.

L'aggiornamento delle previsioni effettuate nelle 24 ore successive (fig. 12) ha mostrato un miglioramento nei livelli calcolati utilizzando i campi meteorologici ad area limitata BOLAM: le curve presentano una previsione in cui il secondo picco avvenuto nella giornata del 29 ottobre si è protratto per diverse ore, oscillando intorno al valore massimo prima di iniziare la fase calante vera e propria. In particolare a Grado le previsioni presentano i tre picchi massimi di marea riproducendo più accuratamente l'andamento dei valori registrati (curva in nero). Le previsioni delle quattro stazioni riportate in figura 12 mostrano una sottostima per il primo massimo di circa 10 cm a Punta della Salute e Lido Diga Sud e di circa 20 cm a Grado; a Chioggia il valore è stato previsto correttamente, nonostante fossero a disposizione soltanto i risultati ottenuti dai modelli deterministici. I successivi massimi di marea sono rientrati all'interno del range indicato dai modelli, intervallo che comunque non si è mai ristretto oltre i 30 cm di ampiezza. Questo fattore è indicativo dell'incertezza legata all'evento e della conseguente difficoltà di operare una scelta corretta nella elaborazione del bollettino.

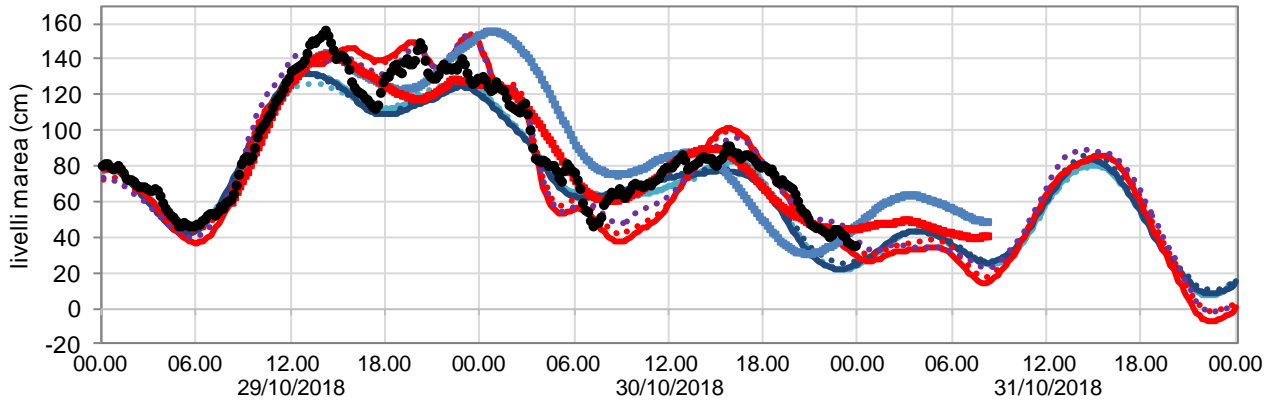
Punta della Salute - previsioni modelli del 29.10.2018



Chioggia - previsioni modelli del 29.10.2018



Lido Diga Sud - previsioni modelli del 29.10.2018



Grado - previsioni modelli del 29.10.2018

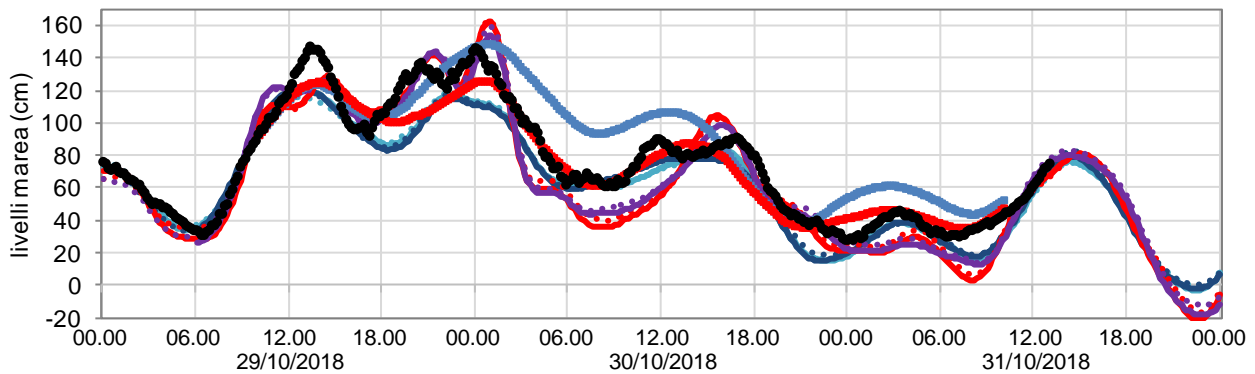


Figura 12 - Livelli di marea misurati (nero) e previsti con anticipo di 24 ore per alcune località della RMLV.

Le previsioni modellistiche elaborate da ISPRA vengono quotidianamente diffuse ed aggiornate attraverso il portale www.venezia.isprambiente.it. Come di consueto, anche nel corso dell'evento eccezionale in analisi, attraverso il sito è stato possibile seguire le uscite modellistiche previsionali, unitamente all'evolversi del fenomeno meteo-mareografico grazie alla consultazione dei dati in tempo reale provenienti dalla maggior parte delle stazioni meteo-mareografiche della RMLV.

A conferma dell'importanza fondamentale di internet come efficace canale comunicativo, in figura 13 si propone un'analisi del flusso di accesso al sito da parte dell'utente nel corso del periodo considerato (da *google analytics*). Il grafico illustra infatti l'andamento temporale del flusso di accesso al sito internet da parte dell'utente nel corso del periodo considerato: si osserva una relazione diretta tra il numero crescente di visite al sito e l'avvicinarsi dell'evento poiché l'utente si trova a consultare sia le previsioni di marea, sia i dati di livello disponibili in tempo reale che permettono di avere un costante aggiornamento della situazione in atto. È questo il motivo per cui il numero di accessi aumenta gradualmente all'avvicinarsi del colmo di marea; passato questo istante gli accessi iniziano gradualmente a diminuire, pur mantenendosi comunque su valori sostenuti nel caso in cui il successivo colmo previsto sia di particolare rilevanza.

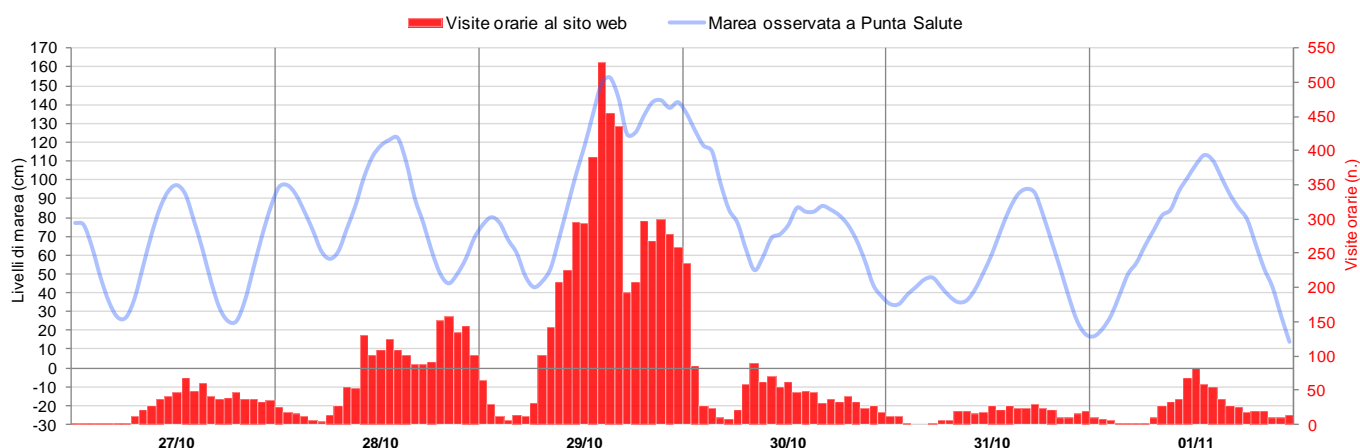


Figura 13 - Andamento della marea ed accessi orari al sito web www.venezia.isprambiente.it